

**DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES EM CLASSES
DOMINANTES DE SOLOS DO TRÓPICO ÚMIDO
BRASILEIRO. II. MANGANÊS**



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA
Vinculada ao Ministério da Agricultura
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido — CPATU
Belém, PA.

MINISTRO DA AGRICULTURA

Nestor Jost

Presidente da EMBRAPA

Eliseu Roberto de Andrade Alves

Diretoria Executiva da EMBRAPA

Ágide Gorgatti Netto	— Diretor
José Prazeres Ramalho de Castro	— Diretor
Raymundo Fonsêca Souza	— Diretor

Chefia do CPATU

Cristo Nazaré Barbosa do Nascimento	— Chefe
José Furlan Júnior	— Chefe Adjunto Técnico
José de Brito Lourenço Junior	— Chefe Adjunto Administrativo

ISSN 0100-8102

BOLETIM DE PESQUISA N.º 62

Julho, 1984

**DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES EM CLASSES
DOMINANTES DE SOLOS DO TRÓPICO ÚMIDO
BRASILEIRO. II. MANGANÊS**

Ramendra Singh



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA
Vinculada ao Ministério da Agricultura
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido — CPATU
Belém, PA.

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à
EMBRAPA-CPATU

Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/nº
Caixa Postal, 48
66.000 - Belém, PA.
Telex : (091) 1210

Tiragem : 1.000 exemplares

Comitê de Publicações : José Furlan Júnior — Presidente
Mário Dantas
Alfredo Kingo Oyama Homma
Paulo Choji Kitamura
Nazira Leite Nassar
Emanuel Adilson Souza Serrão
Luiz Octávio Danin de Moura Carvalho
Maria de Lourdes Reis Duarte
Emmanuel de Souza Cruz
José Natalino Macedo Silva
Ruth de Fátima Rendeiro Palheta

Singh, Ramendra

Disponibilidade de micronutrientes em classes dominantes de solos do trópico úmido brasileiro. II. Manganês. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984.

42p. ilustr. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 62).

1. Solo — Micronutriente — Brasil — Amazônia. 2. Solo — Teor de manganês — Brasil — Amazônia. I. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, Belém, PA. II. Título. III. — Série.

CDD: 631.4109811

© EMBRAPA - 1984

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Núcleo de Ciência Geofísica e Geológica, Setor de Geoquímica, da Universidade Federal do Pará, pela facilidade no uso do Espectrofotômetro de Absorção Atômica.

Agradece também sinceramente ao Prof. C.A. Peres da Universidade de São Paulo, pela ajuda na análise multivariada de dados; ao Prof. Guido Ranzani e ao Dr. Emmanuel de Souza Cruz, pelas suas críticas construtivas na redação do manuscrito.

Enfim, seu agradecimento ao Sr. Adalberto F. Kemper, Laborista que acompanhou as análises feitas neste trabalho.

S U M Á R I O

INTRODUÇÃO	8
MATERIAIS E MÉTODOS	9
Solos	9
Características físico-químicas dos solos	10
Clima	10
Formas de Mn	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
Formas de Mn nos solos	12
Mn solúvel em água	12
Mn trocável	12
Mn facilmente reduzível	12
Mn ativo	12
Mn dificilmente reduzível e resistente	14
Mn total	14
Hipótese para o equilíbrio do Mn em solos	17
Determinação de Mn disponível por Extratores Químicos	19
Seleção de extratores	20
Diagnose da eficiência, suficiência e toxidez de Mn em solos	26
CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
ANEXOS	

DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES EM CLASSES DOMINANTES DE SOLOS DO TRÓPICO ÚMIDO BRASILEIRO. II. MANGANÊS

Ramendra Singh¹

RESUMO : Levantou-se a hipótese sobre a dinâmica de equilíbrio que governa a disponibilidade de Mn em seis classes dominantes de solos, a saber: Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Terra Roxa Estruturada (TE), Glei Pouco Húmico (GPH) e Aluvial (AL) no trópico úmido da Amazônia brasileira. Os componentes essenciais desta hipótese foram baseados na proporção das várias formas de Mn em solos, propriedades físico-químicas de solos, e fatores agroclimáticos. Os solos foram classificados como Mn-pobre (LA, AL e PV) e Mn-rico (LV, GPH e TE). Os solos Mn-pobre, apresentaram baixos níveis de Mn ativo e altos níveis de Mn inerte, enquanto os solos Mn-rico, mostraram distribuição quantitativa semelhante das diferentes formas de Mn. O Mn total nos solos variou de 15 a 3.467 ppm com uma sequência: TE > LV > GPH > AL > PV > LA. O Mn disponível foi geralmente maior em solos Mn-rico do que em solos Mn-pobre. A eficiência relativa dos extratores, praticamente foi na mesma ordem para o DTPA 0,005M (pH 7,3), Mg (NO₃)₂ 1N, HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N e H₃PO₄ 0,1N, mas o EDTA 0,05M (pH 7,0) foi 3-4 vezes mais eficiente do que os outros extratores. Análises de correlação simples, regressão linear múltipla passo a passo, e correlação canônica do Mn extraído com as propriedades dos solos mostrou que o Mg (NO₃)₂ 1N é provavelmente um extrator mais conveniente, mas ainda requer padronização em relação a outros extratores. O diagnóstico de disponibilidade de Mn nos solos mostrou que, geralmente, os LA, AL, e cerca de 30 a 50% dos solos PV são deficientes em Mn, sendo que a ocorrência de fitotoxidez pode obedecer a seguinte sequência: TE ≥ GPH > LV > PV.

Termos para indexação: Solo, formas de manganês, equilíbrio do manganês em solos, eficiência relativa dos extratores, níveis deficiente e fitotóxico de manganês em solos.

¹ Ph.D. Especialista em Fertilidade de Solos. EMBRAPA-CPATU. Convênio IICA/ EMBRAPA/Banco Mundial, Caixa Postal 48. CEP. 66.000. Belém, PA.

MICRONUTRIENT AVAILABILITY IN DOMINANT SOIL TYPES OF BRAZILIAN HUMID TROPICS. II. MANGANESE

ABSTRACT: The study proposes a hypothesis on dynamics of manganese equilibrium which may control its availability in six predominant soil types viz. Red-Yellow Podzolics (PV), Yellow Latosols (LA), Red-Yellow Latosols (LV), "Terra Roxa Estruturada" (TE), Low Humic Gleys (GPH), and Alluvial Soil (AL) of the humid tropics of Brazilian Amazon region. The essential components of this hypothesis were based on the proportion of different forms of Mn in the soils, physico-chemical properties and agro-climatic factors. The soils were classified as Mn-poor (LA, AL & PV) and Mn-rich (LV, GPH & TE). Whereas Mn-poor soils had low levels of active and high levels of inert Mn, the proportion of different forms of Mn was almost well balanced in Mn-rich soils. The total Mn in the soils varied from 15 to 3,467 ppm and the sequence of soils for it was found to be: $TE > LV > GPH > AL > PV > LA$. The available Mn contents were generally more in Mn-rich soils than in Mn-poor soils. The relative efficiency of the extractants was found to be practically of the same order for 0.005M DTPA (pH 7.3), 1N Mg (NO₃)₂, 0.05N HCl + 0.025N H₂SO₄ and 0.1N H₃PO₄, however, 0.05M EDTA (pH 7.0) was 3-4 times more efficient than these extractants. Simple correlation, stepwise multiple linear regression and canonical correlation analyses of Mn extracted with soil properties showed that 1N Mg (NO₃)₂ may be the most suitable extractant but still required standardization in comparison to other extractants. The diagnosis of available Mn in the soils indicated that in general all the LA and AL soils and about 30 to 50% PV soils could be classified as deficient. Probability of phyto-toxicity of Mn in the soils may obey the following sequence: $TE \geq GPH > LV > PV$.

Index terms: Soil, forms of manganese, manganese equilibrium in soils, relative efficiency of the extractants, deficient and phyto-toxic levels of manganese in soils.

INTRODUÇÃO

O estado do manganês em solos tropicais é de considerável importância, uma vez que sua deficiência e/ou mais frequentemente, sua toxidez, afetam a produção vegetal ou a animal. No Brasil, diversos estudos mencionam a toxidez do Mn (Döbereiner & Alvahydo 1963, Souto & Döbereiner 1969, Coutinho et al. 1971, Franco & Döbereiner 1971, Costa et al. 1977, Almeida & Sfredo 1979 e Mascarenhas et al. 1982) e sua deficiência (Horowitz & Dantas 1966 e Dantas 1971) sob diversas condições de solo, plan-

tas e agroclimáticas. Contudo, pouco se sabe sobre os níveis, formas e o comportamento do Mn nos solos da Amazônia brasileira, para que se possa estabelecer a deficiência ou toxidez desse elemento no solo.

No solo, o Mn existe sob diferentes formas (Leeper 1947, Fujimoto & Sherman 1948 e Reid & Miller 1963). Com o propósito de avaliação química, o Mn disponível à planta ou o Mn ativo do solo, tem sido definido como a soma do Mn-manganoso prontamente disponível (Mn solúvel em água e trocável) e as formas de Mn-mangânico que são facilmente reduzíveis (Sherman et al. 1942 e Leeper 1947).

A disponibilidade de Mn no solo é governada por diversos fatores que influem sobre o equilíbrio dinâmico entre as diversas formas desse elemento (Piper 1931; Sherman & Harmer 1942; Cheng & Ouellette 1971 e Cheng 1973). Alguns desses fatores também afetam quantitativamente o Mn extraído com diversos extratores químicos (Boken 1958, Singh & Pathak 1969, Dalal & Chatterjee 1971, Randal et al. 1976, Roorda van Eysinga et al. 1978 e Salcedo et al. 1979).

Com base nessas considerações, este estudo foi conduzido utilizando-se tipos de solos representativos do trópico úmido da Amazônia brasileira, com os seguintes objetivos: a) determinar as várias formas de Mn do solo e estudar o equilíbrio dinâmico que deve existir entre tais formas; b) avaliar os extratores químicos usuais pelas relações que o Mn extraído tem com suas formas e com os fatores do solo que quantitativamente influem sobre a sua extração; c) diagnosticar a extensão de possível deficiência ou toxidez de Mn nos solos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Solos

Os solos utilizados neste estudo são representados por seis classes predominantes no trópico úmido da Amazônia brasileira: Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Terra Roxa Estruturada (TE), Glei Pouco Húmico (GPH) e Aluvial (AL), objeto de pesquisa anterior com zinco (Singh & Möller 1984).

Características físico-químicas dos solos

As características físico-químicas desses solos foram determinadas pelos métodos citados por Singh & Möller (1984).

Clima

As amostras de solos foram coletadas em áreas pertencentes aos tipos climáticos Afi, Ami e Awi da classificação de Köppen (Bastos 1982), assim discriminados:

a) nordeste do Estado do Pará entre o paralelo de 1° a 3° de latitude Sul e entre os meridianos 46° a 49° de longitude Oeste de Greenwich, apresentando os tipos climáticos Afi e Ami;

b) porção central do Estado do Pará entre os paralelos 3° e 4° de latitude Sul e os meridianos 51° a 53° de longitude Oeste de Greenwich, com a predominância dos tipos Ami e Awi;

c) sudeste do Território Federal do Amapá entre os paralelos de 30' de latitude Norte e Sul e entre os meridianos 51° 00' a 51° 30' de longitude Oeste de Greenwich apresentando predominância do tipo climático Ami;

d) nordeste do Território Federal de Roraima entre os paralelos 2° 40' a 3° 40' de latitude Norte e entre os meridianos 60° 00' e 61° 30' de longitude Oeste de Greenwich com a predominância do tipo Awi.

Formas de Mn

As diferentes formas de Mn nesses solos foram determinadas pelos seguintes métodos :

a) Extração com água (Adams 1965); 5g de terra agitados durante 30 minutos com 50 ml de água bidestilada, filtrando-se através de papel Whatman nº 42.

b) Extração com solução 0,005M DTPA (pH 7,3) (Lindsay & Norvell 1978); 10 g de terra agitados durante duas horas com 20 ml de solução DTPA 0,005M, TEA 0,1M e CaCl_2 0,01M (pH 7,3) filtrando-se através de papel Whatman nº 42.

c) Extração com NH_4OAc 1N (pH 4,6) (Morgan 1941); 5 g de terra agitados durante duas horas com 50 ml de NH_4OAc 1N (pH 4,6) filtrando-se através de papel Whatman nº 42.

d) Extração com H_3PO_4 0,1N (Hoff & Maderski 1958); 5 g de terra agitados durante uma hora com 50 ml de H_3PO_4 0,1N, filtrando-se através de papel Whatman nº 42.

e) Extração com $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 1N (Steenbjerg 1933 segundo Browman et al. 1969); 5 g de terra agitados durante uma hora com 50 ml de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 1N, filtrando-se através de papel Whatman nº 42.

f) Extração com EDTA 0,05M (Viro 1955); 5 g de terra agitados durante quinze minutos com 20 ml de EDTA 0,05M (pH 7,0) filtrando-se através de papel Whatman nº 42.

g) Extração com hidroquinona 0,2% em NH_4OAc 1N (pH 7,0) (Sherman et al. 1942); 5 g de terra agitados com intervalos de 30 minutos durante seis horas com solução de hidroquinona 0,2% em NH_4OAc 1N (pH 7,0), filtrando-se através de Buchner, sendo 5 ml do filtrado digeridos com 1 ml de HNO_3 concentrado até secura. O resíduo dissolveu-se com 1 ml de HCl 6N diluindo-se para 25 ml com água bidestilada.

h) Extração com citrato-bicarbonato-ditionito (Jackson 1969); 2 g de terra foram tratados com citrato-bicarbonato-ditionito completando-se o volume do extrato para 250 ml.

i) Extração do Mn total pelo ácido perclórico (Singh & Möller 1984), 1-2 g de terra digeridos com 10 ml de HClO_4 70% durante uma hora, diluindo-se com água bidestilada e filtrada em papel Whatman nº 42. Completa-se o volume do filtrado para 50 ou 100 ml.

O Mn dos extratos foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica.

Os resultados foram analisados estatisticamente pelos coeficientes de correlação simples e Análise de Regressão Linear passo a passo conforme o método descrito por Draper & Smith (1981). Análise multivariada de quantidade de Mn extraída por vários extratores

e as propriedades físico-químicas de solos foi feita pelo método descrito por Morrison (1976) utilizando programação BMDP/6M do computador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de Mn, obtidos nas amostras de solo por diferentes métodos são apresentados nos Anexos I e II, respectivamente.

Formas de Mn nos solos

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios das diferentes formas de Mn nas classes dominantes de solos.

Mn solúvel em água : enquanto o teor de Mn solúvel em água foi nulo ou baixo nos solos LA, AL e vários PV, foi médio nos solos LV e alto nos solos GPH e TE. Em ordem decrescente, a seqüência de teores de Mn solúvel em água foi: TE > GPH > LV > PV > LA > AL.

Mn trocável : em ordem decrescente relativamente ao Mn trocável, a seqüência encontrada foi GPH > TE > LV > PV > AL > LA. O LA foi o mais pobre em Mn-manganeso prontamente disponível às plantas. Aparentemente, apenas os solos LV, GPH e TE são bem supridos dessa forma de Mn.

Mn facilmente reduzível : solos apresentando menos de 25 ppm de Mn facilmente reduzível, foram considerados deficientes nesse elemento (Sherman et al. 1942). Com base nesse critério, os solos LV e TE parecem bem supridos, enquanto o solo GPH se apresenta suficiente, mas moderado conteúdo nesse elemento. Esta forma de Mn ocorre com menos de 15 ppm nos solos PV, LA e AL. Estes solos, portanto, devem ser considerados deficientes no suprimento de Mn. Os resultados mostram que enquanto o teor de Mn pode ser crítico nos solos PV, LA e AL, sob uso agrícola, nos solos TE, LV e GPH com elevado teor de Mn facilmente reduzível associado com a forma solúvel em água, o Mn pode se encontrar em nível fitotóxico.

Mn ativo : O Mn ativo que inclui o solúvel em água, trocável e o facilmente reduzível tem sido considerado como um indicador do Mn disponível às plantas (Leeper 1947).

TABELA 1. Valores médios de diferentes formas¹ de Mn em amostras superficiais de tipos de solos predominantes na Amazônia Brasileira.

Tipo de Solo	Mn (ppm)						Total	Ativo %
	Solúvel em água	Trocável	Facilmente reduzível	Ativo	Difícilmente reduzível	Resistente		
PV	0,23	7,92	4,91	13,06	16,73	27,92	57,71	23
LA	0,01	3,14	—	1,23	7,04	25,87	34,14	4
AL	0,00	5,98	—	2,14	1,33	62,53	66,00	3
LV	0,53	51,13	289,20	340,86	90,47	95,35	526,67	65
GPH	1,93	80,42	47,30	129,65	123,33	128,59	381,57	34
TE	5,85	75,97	660,63	742,45	736,71	364,34	1.843,50	40
Todos os solos estudados	0,96	26,91	85,70	113,57	98,55	77,34	289,46	39

¹ Definições das formas de Mn:

Trocável = Mn solúvel em NH_4OAc 1N (pH 4,6) em ppm — ppm Mn solúvel em água.

Facilmente reduzível = ppm de Mn solúvel em Hidroquinona 0,2% em NH_4OAc 1N (pH 7,0) — ppm de Mn solúvel em NH_4OAc 1N (pH 4,6).

Ativo = ppm de Mn (solúvel em água + trocável + facilmente reduzível).

Difícilmente reduzível = ppm de Mn solúvel em CBD — ppm de Mn solúvel em hidroquinona 0,2% em NH_4OAc 1N (pH 7,0).

Resistente = ppm Mn total — ppm Mn solúvel em CBD.

Ativo % = (ppm Mn ativo/ppm Mn total) x 100.

O intervalo crítico para o Mn ativo foi considerado entre 15-100 ppm para alguns solos indianos, sendo que um nível inferior a 15 ppm de Mn ativo indicou deficiência nesse elemento (Raychaudhuri & Datta Biswas 1964 e Kanwar & Randhawa 1967). Segundo este critério, os solos PV, LA e AL podem, em geral, ser considerados deficientes.

Mn dificilmente reduzível e resistente: Aparentemente estas são as formas de Mn mais dominantes em quase todos os solos estudados. A relação Mn-ativo/Mn-total mostrou que os solos pobres em Mn v.g. PV, LA e AL apresentam acima de 77% do Mn como dificilmente reduzível e resistente. Contudo, nesses solos, a proporção de Mn resistente foi muito maior que a de Mn dificilmente reduzível. As quantidades absolutas de Mn dificilmente reduzível e resistente, foram muito menores em solos pobres em Mn que nos ricos (LV, GPH e TE). Destas duas formas de Mn e em termos do fator capacidade, somente o Mn facilmente reduzível sob certas condições e mesma escala comparativa de tempo, tem alguma significância em relação ao fator intensidade.

Mn total : Os solos TE apresentaram os mais elevados teores de Mn total. Em todos os solos estudados o Mn total variou de 15 ppm (no solo PV) a 3.467 ppm (no solo TE), com um valor médio de 289,46 ppm. Em ordem decrescente, quanto ao teor de Mn total, os solos estudados se apresentaram na seguinte sucessão: TE > LV > GPH > AL > PV > LA. De um modo geral, os solos originados de rochas básicas, v.g TE ou aqueles originados de materiais transportados, v.g. GPH e AL são mais ricos em Mn que os provenientes de rochas ácidas, v.g. PV e LA.

A distribuição do Mn total em profundidade, em alguns dos solos estudados, relativamente aos conteúdos de argila, carbono orgânico e P total é mostrada nas Fig. 1a, 1b e 1c. Nos solos PV e LA, o teor de Mn total mostrou tendência a decrescer e em seguida aumentar com a profundidade. Enquanto a distribuição do Mn total com a profundidade, em geral, não segue as variações em argila, carbono orgânico e P total nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo. Um decréscimo em Mn total até a profundidade de 40 cm em alguns solos dos Estados de Pernambuco e Alagoas também foi mencionado por Dantas (1971).

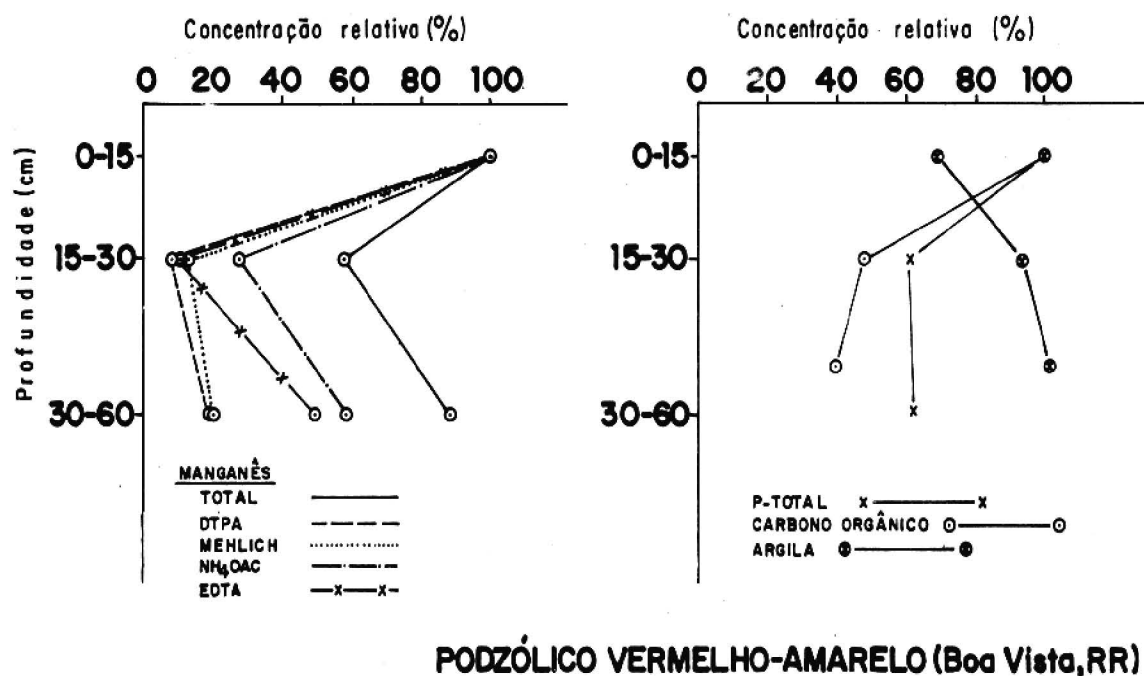
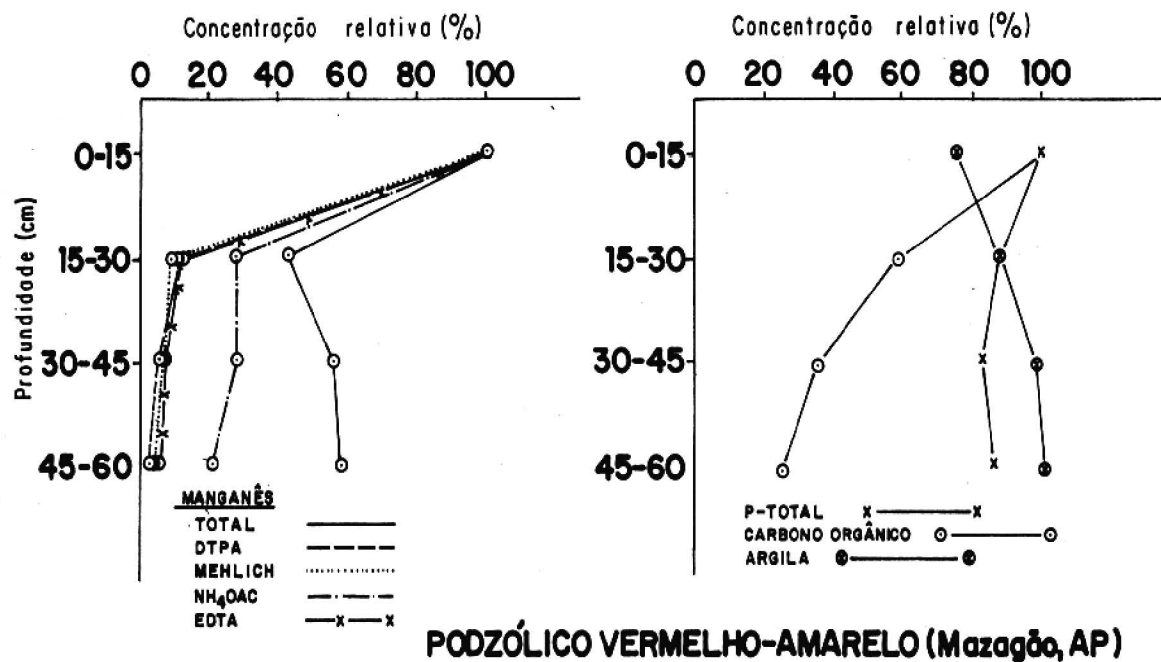
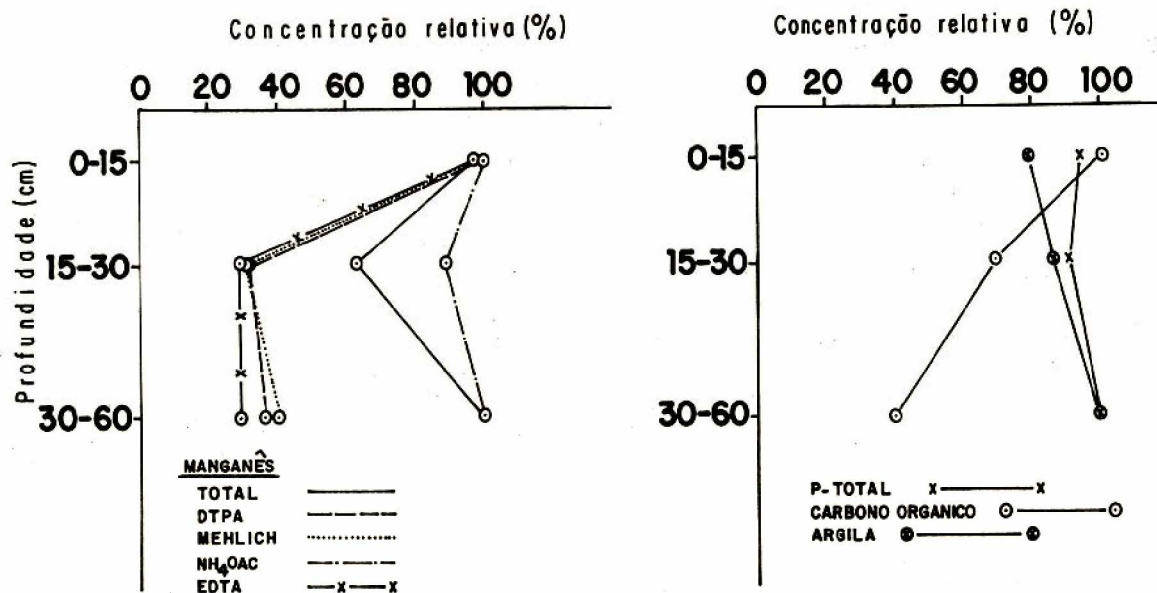
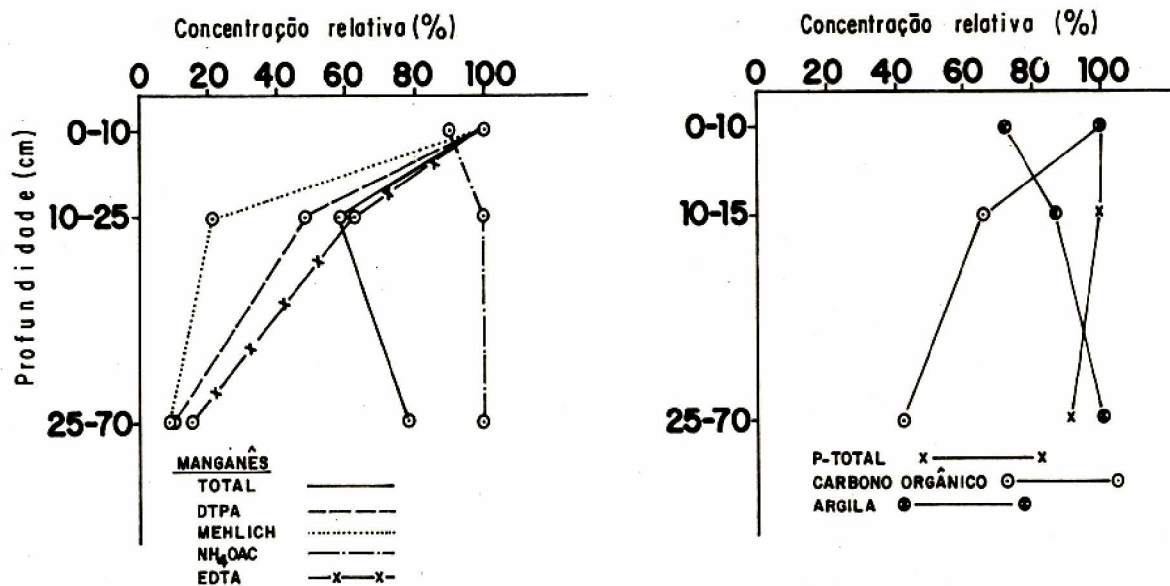


FIG. 1(a). Distribuição do Mn-total e disponível em relação à argila, carbono orgânico e fósforo total.



LATOSSOLO AMARELO (Macapá, AP)



LATOSSOLO AMARELO (Boa Vista, RR)

FIG. 1(b). Distribuição do Mn-total e disponível em relação à argila, carbono orgânico e fósforo total.

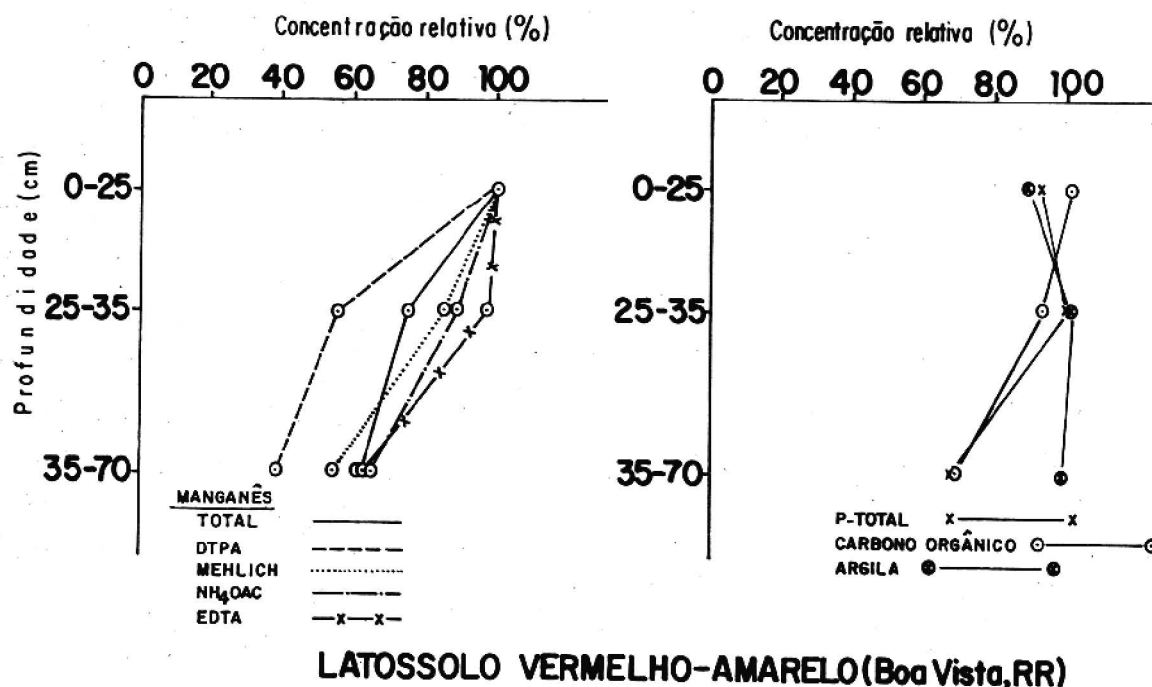


FIG. 1(c). Distribuição do Mn-total e disponível em relação à argila, carbono orgânico e fósforo total.

Hipótese para o equilíbrio do Mn em solos

Com base no estudo das frações de Mn nos solos e em sugestões contidas na literatura para diferentes tipos de condições climáticas (Sherman & Harmer 1951, Dion & Mann 1946, Dion et al. 1947, Fujimoto & Sherman 1948, Jones & Leeper 1951, Heintze 1957, Cotter & Mishra 1968 e Cheng 1973) é proposta uma hipótese geral para o equilíbrio dinâmico que deve existir nos solos estudados (Fig. 2).

Condições edáficas e climáticas de equilíbrio são bastante diferentes nos solos de regiões tropicais quando comparadas às existentes nos solos de regiões temperadas. Fatores climáticos como é o caso de elevadas temperatura e precipitação pluviométrica são também determinantes de muitos fatores edáficos e assim influem direta e indiretamente sobre o grau e velocidade de equilíbrio entre

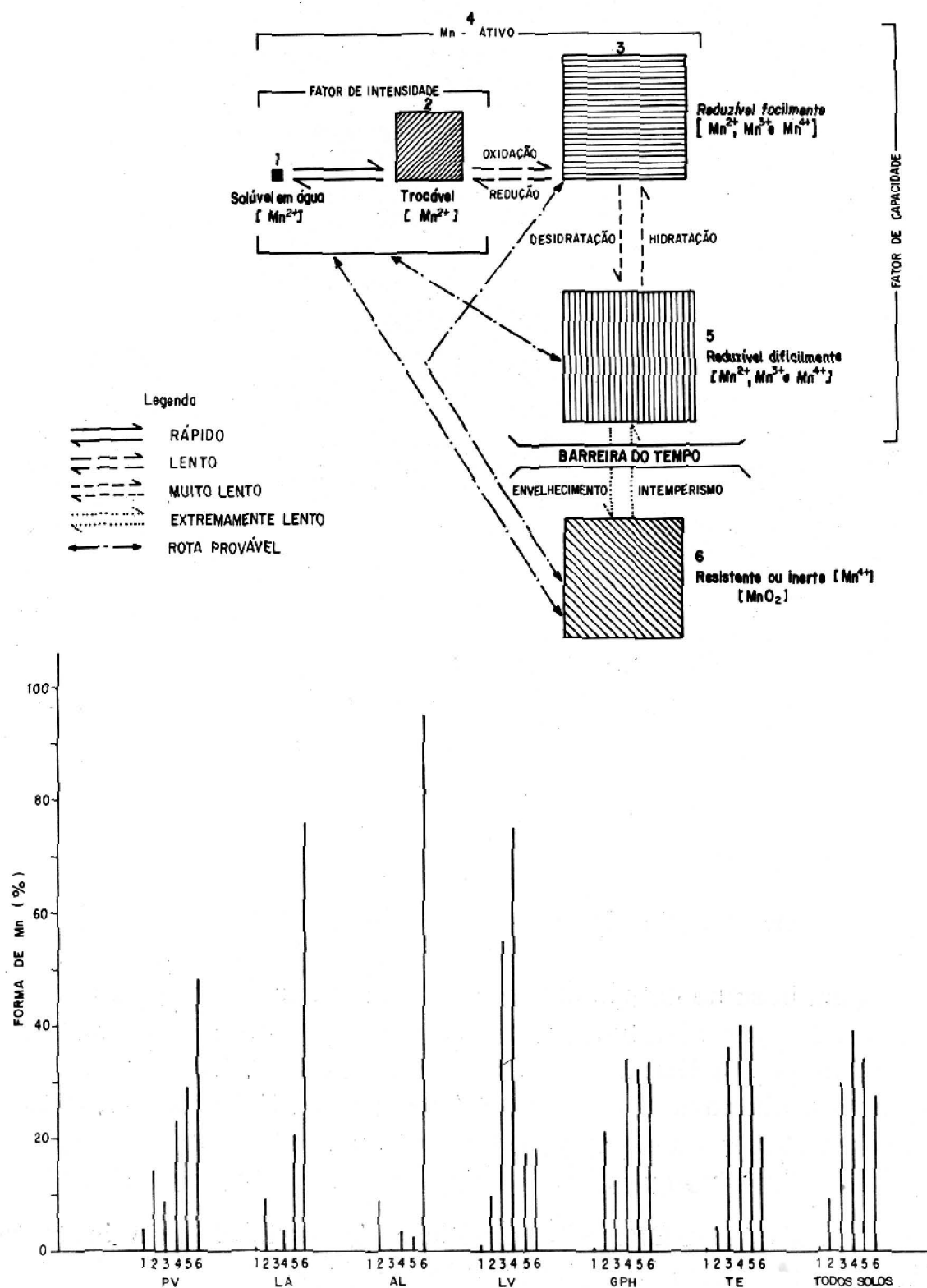


FIG. 2 — Equilíbrio hipotético e distribuição relativa de formas de Mn em solos.

as várias formas de Mn no solo. Os solos tropicais sob intensas condições de lavagem, pH ácido, oxidação de matéria orgânica, oxirredução, intemperização, etc., comparados com os solos de regiões temperadas, apresentam uma situação típica na qual, as formas de Mn dificilmente reduzível, além das formas resistentes ou inertes, devem contribuir significativamente para as formas de Mn mais disponíveis.

Nos solos estudados, a dinâmica do equilíbrio do Mn deve estar na direção do Mn^{2+} , v.g. mantendo o Mn na forma mais facilmente disponível. Contudo tal comportamento sob elevadas precipitações deve promover perdas de Mn através de lavagens, especialmente nos solos de textura grosseira à semelhança do que foi citado por Leeper (1947), Singh & Pathak (1970) e Singh (1970). Talvez muitos solos de textura grosseira com baixo teor de matéria orgânica das classes LA e PV se tornem deficientes em Mn, em virtude de perdas por lixiviação excessiva promovida por intensa precipitação. Como o fator capacidade do Mn nestes solos foi também de baixa grandeza, a deficiência desse nutriente deve ser um problema que se acentuará na produção vegetal.

Comparando-se os solos pobres em Mn com os ricos, a dinâmica do equilíbrio do Mn deve assumir magnitude ou natureza diferente em cada grupo de solo devido marcantes diferenças na modalidade de distribuição das formas de Mn. Enquanto na primeira categoria de solos a distribuição do Mn foi fortemente deslocada para formas mais resistentes, ela foi bem balanceada na última.

As condições de equilíbrio em solos ricos em Mn com fatores intensidade e capacidade altos, deve promover suficiente quantidade de Mn^{2+} para ser fitotóxico. Em contraste, em solos pobres em Mn o equilíbrio entre os fatores de baixas intensidade e capacidade foi, possivelmente, entre outros fatores, responsável pela sua deficiência em solos dessa categoria.

Determinação de Mn disponível por Extratores Químicos

O Mn disponível no solo foi extraído com cinco extratores químicos, v.g. DTPA 0,005M (pH 7,3), EDTA 0,05M (pH 7,0), $Mg(NO_3)_2$ 1N, HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025 N e H_3PO_4 0,1 N além da determinação do Mn solúvel em H_2O e em NH_4OAc 1N (pH 4,6).

Os extratores químicos utilizados diferiram quanto à habilidade de extração do Mn do solo (Tabela 2). Para todos os solos, em média, enquanto o DTPA 0,005M (pH 7,3), o $Mg(NO_3)_2$ 1N o HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025 N e o H_3PO_4 0,1 N extraíram praticamente as mesmas quantidades, o EDTA 0,05 M (pH 7,0) extraiu 3 a 4 vezes mais Mn. O EDTA 0,05 M (pH 7,0) deve ter solubilizando Mn a partir de complexos ou mesmo de elevada valência. Este fato é corroborado pelos coeficientes de correlação altamente significativos ($r \geq 0,96^{**}$) do Mn extraído pelo EDTA 0,05M (pH 7,0) com Mn extraído pela hidroquinona 0,2% em NH_4OAc 1 N (pH 7,0) e pelo CBD (Tabela 3).

Comparando-se os solos das duas categorias observa-se que os extratores utilizados geralmente retiram mais Mn dos solos ricos do que dos solos pobres. Evidentemente, os solos dessas duas categorias não apenas diferem quanto as formas de Mn que contribuem para as extrações, como também ocorrem contribuições de cada forma de Mn para esse processo.

A distribuição de Mn extraído pelo DTPA 0,005M (pH 7,3), HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N, EDTA 0,05M (pH 7,0) e NH_4OAc 1N (pH 4,6) em relação à argila, carbono orgânico e P total com a profundidade do solo é apresentada nas Fig. 1a, 1b e 1c. Em geral, o decréscimo de Mn extraído acompanhou decréscimos semelhantes de conteúdos de carbono orgânico e de P total. Exceção a esta observação foi verificada no caso de Mn extraído por NH_4OAc 1N, (pH 4,6), que segue a argila, mostrando tendência de crescer com o aumento da profundidade. A distribuição de Mn extraído por diversos extratores em relação ao Mn total mostrou grandes variações entre solos, com o aumento da profundidade.

Seleção de extratores

Coeficientes de correlação simples foram determinados entre as quantidades de Mn extraídas (Tabela 3), mas para as relações não significativa entre o Mn extraído pelo $Mg(NO_3)_2$ 1 N e pelo EDTA 0,05 M (pH 7,0) ocorreu uma correlação altamente significativa ($r = 0,66^{**}$ a $0,98^{**}$) entre as quantidades extraídas por outros extratores. Assim, quaisquer dos extratores utilizados é promissor na determinação do Mn disponível nos solos estudados. Com o intuito de

TABELA 2. Os valores médio de Mn extraído por extratores diferentes de amostras de camadas superficiais de dominantes solos da Amazônia Brasileira.

Extratores	Tipo de Solo						TODOS SOLOS
	PV	TE	LV	LA	GPH	AL	
				ppm			
DTPA 0,005M (pH 7,3)	5,88	134,47	42,90	0,37	51,44	1,19	25,47
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	10,66	133,52	51,38	0,97	67,75	1,40	31,01
H ₃ PO ₄ 0,1N	9,21	142,57	60,76	0,96	52,63	1,50	29,36
Mg (NO ₃) ₂ 1N	5,03	45,21	50,32	0,48	93,28	1,83	24,15
EDTA 0,05M (pH 7,0)	10,84	884,96	155,97	0,41	98,00	1,27	107,78

TABELA 3. Correlação simples entre o Mn extraído por vários extratores e Mn total.

Extrator e Mn Total	Hidroquinona				
	H ₂ O	DTPA 0,005M (pH 7,3)	HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	NH ₄ OAc 1N (pH 4,6)	EDTA 0,05M (pH 7,0)
H ₂ O	1	0,51**	0,47**	0,53**	0,47**
DTPA 0,005M (pH 7,3)		1	0,96**	0,82**	0,79**
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N			1	0,88**	0,76**
NH ₄ OAc 1N (pH 4,6)				1	0,42**
H ₃ PO ₄ 0,1N					0,78**
Mg(NO ₃) ₂ 1N					0,21ns
EDTA 0,05M (pH 7,0)					1
Hidroquinona 0,2% em NH ₄ OAc 1N (pH 7,0)					0,96**
CBD					0,97**
Total					1

* Significativa a nível de 0,05.

** Significativa a nível de 0,01.

ns Não significativa a nível de 0,05.

facilitar a seleção do extrator mais adequado foi determinada a influência de várias propriedades físico-químicas dos solos, através de correlação simples dessas propriedades com as quantidades de Mn extraído pelas soluções utilizadas (Tabela 4). O Mn extraído pelo DTPA 0,005 M (pH 7,3), pelo HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N e pelo H₃PO₄ 0,1 N apresentou correlação altamente significativa ($P = 0,01$) com argila, saturação de bases, CTC, P total e Fe_d.

No caso do Mg (NO₃)₂ 1 N e do EDTA 0,05 M (pH 7,0), correlação significativa foi encontrada com argila, CTC, saturação de bases, P total e pH, argila, saturação de bases, P total e Fe_d, respectivamente. O efeito de várias características do solo sobre a quantidade de Mn extraído tem sido largamente citado na literatura para diferentes solos. Assim, por exemplo, alguns autores mencionam correlações significativamente negativas do pH do solo com o Mn extraído por NH₄OAc 1 N (pH 7,0) (Randhawa et al. 1961, Browman et al. 1969, Singh 1970, Singh & Pathak 1970 e Salcedo et al. 1979), por Mg(NO₃)₂ 1 N (Browman et al. 1969) e por H₃PO₄ 0,1 N (Browman et al. 1969).

Por outro lado, correlação positiva entre o pH do solo e o Mn extraído com H₃PO₄ 0,1 N foi também mencionada por Randall et al. (1976). Outras propriedades do solo como os teores de argila (Singh 1970), e de carbono orgânico (Singh 1970 e Singh & Pathak 1970) foram mencionados como positivamente correlacionados com Mn extraído pelo NH₄OAc 1 N (pH 7,0). É interessante observar que Salcedo et al. (1979) e Randall et al. (1976) observaram a ocorrência de correlação negativa significativa do carbono orgânico com o Mn extraído pelo H₃PO₄ 0,1 N. É, portanto, evidente que as propriedades do solo possuem um efeito característico sobre o Mn extraível.

A fim de se estudar o efeito conjunto de várias propriedades do solo, equações de regressão linear foram ajustadas (a $P = 0,05$) por análise de regressão passo a passo (Tabela 5). As melhores equações de predição foram ($r^2 \geq 0,81$) para Mn extraído com DTPA 0,005 M (pH 7,3), HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N e H₃PO₄ 0,1 N, com dois fatores independentes: P total e Mn total. No caso do Mg (NO₃)₂ 1 N e NH₄OAc 1 N (pH 4,6), as melhores equações foram ajustadas com Fe_d e P total e P total, respectivamente, apesar do baixo nível de confiabilidade ($r^2 \leq 0,58$). Este aspecto indica que o Mn extraído pelo Mg (NO₃)₂ 1 N e NH₄OAc 1 N (pH 4,6) foi menos

TABELA 4. Correlação simples entre o Mn extraído por vários extratores e Mn total com algumas propriedades físico-químicas dos solos.

Extrator e Mn-total	Propriedades do solo							
	pH	Argila (%)	C. org. (%)	CTC (me/100g)	V (%)	P disponível (ppm)	P total (ppm)	Fe _d (%)
H ₂ O	—0,21ns	0,53**	0,17ns	0,34*	0,13ns	0,07ns	0,50**	0,48**
DTPA 0,005 (pH 7,3)	0,13ns	0,58**	0,02ns	0,39**	0,42**	—0,06ns	0,67**	0,67**
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	0,11ns	0,64**	0,12ns	0,51**	0,49**	0,02ns	0,75**	0,66**
NH ₄ OAc 1N (pH 4,6)	—0,14ns	0,57**	0,22ns	0,62**	0,48**	0,12ns	0,76**	0,45**
H ₃ PO ₄ 0,1N	0,13ns	0,61**	0,04ns	0,40**	0,40**	—0,06ns	0,66**	0,71**
Mg(NO ₃) ₂ 1N	—0,19ns	0,38**	0,21ns	0,59**	0,45**	0,19ns	0,63**	0,16ns
EDTA 0,05M (pH 7,0)	0,30*	0,51**	—0,03ns	0,24ns	0,32*	—0,12ns	0,52**	0,65**
Hidroquinona 0,2% em NH ₄ OAc 1N (pH 7,0)	0,28ns	0,50**	—0,08ns	0,23ns	0,34*	—0,14ns	0,50**	0,61**
CBD	0,27ns	0,54**	—0,06ns	0,25ns	0,35*	—0,14ns	0,57**	0,70**
Total	0,25ns	0,55**	—0,04ns	0,27ns	0,36*	—0,12ns	0,59**	0,70**

ns não significativa a nível de 0,05.

* significativa a nível de 0,05.

** significativa a nível de 0,01.

TABELA 5. As melhores equações de regressão lineares múltiplas ajustadas pela análise passo a passo entre o Mn extraído por diferentes extratores e propriedades físico-químicas dos solos.

Extrator	Equação ¹	r ²
DTPA 0,005M (pH 7,3)	Mn extraído (ppm) = -1,264 + 0,0582 P-total (ppm) + 0,0551 Mn-Total (ppm)	0,82
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	Mn extraído (ppm) = -0,104 + 0,095 P-total (ppm) + 0,0467 Mn-Total (ppm)	0,82
NH ₄ OAc 1N (pH 4,6)	Mn extraído (ppm) = -2,563 + 0,164 P-total (ppm)	0,58
H ₃ PO ₄ 0,1N	Mn extraído (ppm) = 2,527 + 0,058 P-total (ppm) + 0,056 Mn-Total (ppm)	0,81
Mg (NO ₃) ₂ 1N	Mn extraído (ppm) = -5,631 + 4,254 Fe _d (%) + 0,223 P-total (ppm)	0,51

¹ O valor de F para cada equação em análise da variância foi significativa a nível de 0,01.

afetado pelas propriedades do solo e assim, pode ser adotado para a determinação do Mn disponível nos diferentes tipos de solos estudados.

Outra forma de estudar o efeito das propriedades do solo sobre a quantidade de Mn extraído por diferentes soluções é através da análise de correlação canônica. Um estudo alternativo da relação de dependência entre um conjunto de variáveis de propriedades do solo e outro de variáveis que avaliam a quantidade de Mn extraído por várias soluções, foi feito através dessa análise e, cuja finalidade foi encontrar pares de combinações lineares com correlação máxima (Tabela 6). A correlação canônica do primeiro par foi igual a 0,99505, a qual é altamente significativa ($P < 0,001$).

Esta análise indicou que as variáveis explicativas da primeira variável canônica independente são: Mn total, argila, Fe_d e P total. As variáveis explicativas da primeira variável canônica dependente foram todas, exceto as de $Mg(NO_3)_2$ 1 N e de H_2O , as quais não mostraram relação com as variáveis independentes. Assim, o Mn extraído com $Mg(NO_3)_2$ 1 N e com H_2O não é afetado pelas propriedades físico-químicas dos solos estudados. Embora a adaptabilidade de H_2O como extrator pareça ser semelhante ao $Mg(NO_3)_2$ 1 N, seu uso deve ser muito mais indicado para os solos ricos em Mn, para prever-se a toxidez de Mn, do que para a deficiência em solos pobres.

Diagnose da deficiência, suficiência e toxidez de Mn em solos

Com base nas formas de Mn, os solos estudados foram classificados como pobres em Mn (LA, AL e PV) e ricos (LV, GPH e TE). A extensão de possível deficiência ou fitotoxidez de Mn em cada grupo de solos é aqui analisada com base nos limites críticos dos diferentes extratores geralmente empregados na diagnose da disponibilidade do Mn em diferentes culturas (Tabelas 7 e 8). Enquanto alguns solos pobres em Mn se enquadram na categoria deficiente, alguns dos solos ricos em Mn apresentam conteúdos de Mn disponível em quantidades fitotóxicas. Em termos de tipos de solos, contudo, todos os solos AL e LA e cerca de 30 a 50% dos solos PV se incluem na categoria deficientes em Mn disponível. Por outro lado, a ocorrência de fitotoxidez de Mn nos diferentes solos segue a seguinte seqüência: $TE \geq GPH > LV > PV$.

TABELA 6. Coeficientes de variáveis canônicas.

Variáveis Originais		Variáveis canônicas					
		1	2	3	4	5	6
Variáveis Independentes (propriedades físico-químicas de solos)							
	Mn - total (ppm)	0,779	—0,443	0,412	—0,112	0,053	0,021
	pH	0,090	0,152	0,332	0,464	0,246	—0,628
	Carbono Orgânico (%)	0,093	—0,259	—0,437	—0,076	0,404	0,440
	Argila (%)	0,704	—0,110	—0,413	0,207	0,184	0,483
	Fe _d (%)	0,910	0,318	—0,242	0,053	0,003	0,047
	C.T.C. (m.e./100g)	0,362	—0,555	—0,513	—0,045	0,399	0,340
	V (%)	0,334	—0,491	—0,194	0,190	0,243	—0,187
	P — disponível (ppm)	—0,093	—0,278	—0,247	—0,024	0,097	0,009
	P — total (ppm)	0,709	—0,391	—0,565	0,016	0,006	—0,010
Variáveis Dependentes (Mn-Extraído por vários extratores)							
	DTPA 0,005M(pH 7,3)	0,797	—0,224	—0,070	0,103	0,062	—0,192
	HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	0,835	—0,355	—0,045	0,119	0,146	—0,151
	EDTA 0,05M (pH 7,0)	0,691	—0,010	—0,057	0,453	0,159	—0,316
	NH ₄ OAc 1N (pH 4,6)	0,679	—0,597	—0,098	—0,142	0,011	0,045
	H ₃ PO ₄ 0,1N	0,863	—0,224	0,043	0,106	0,101	—0,110
	Mg (NO ₃) ₂ 1N	0,418	—0,742	—0,081	—0,176	0,045	0,010
	H ₂ O	0,365	0,050	—0,482	0,111	—0,160	0,299
	Hidroquinona 0,2% + NH ₄ OAc 1N (pH 7,0)	0,737	—0,139	0,122	0,417	0,060	—0,196
	CBD	0,792	—0,086	0,027	0,348	0,019	—0,267

TABELA 7. Níveis críticos do Mn para os diversos extratores estabelecidos por diferentes pesquisadores.

Extrator	Cultura	Deficiência	Fitotoxidez	Referência
		Nível crítico (ppm)		
DTPA 0,005M (pH 7,3)	Milho	1		Lindsay & Norvell (1978)
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	Diversas	5		Sanchez (1981)
NH ₄ OAc 1N (pH 7,0)	Diversas	3		Singh (1970)
Mg (NO ₃) ₂ 0,5N	Aveia	3		Steenbjerg (1935) citado por Leeper (1947)
H ₃ PO ₄ 0,1N	Soja	20		Hoff & Mederski (1958)
DTPA 0,005M (pH 7,3)	Tabaco		77 - 121	Dungapatra et al. (1979)
NH ₄ OAc 1N (pH 7,0)	Algodão		40	Costa et al. (1977)
H ₂ O	Forragens Leguminosas		0,5	Morris (1948)

TABELA 8. Percentagem de solos, considerados deficientes ou com nível de fitotoxidez de Mn, estabelecida pelos níveis críticos de extratores utilizados.

Extrator	Nível crítico (ppm)	Classe de solo (%)					
		PV	LA	LV	TE	GPH	AL
Extensão de Provável da Deficiência							
DTPA 0,005M (pH 7,3)	1	0	100	0	0	0	100
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	5	33	100	0	0	0	100
NH ₄ OAc 1N (pH 4,6)	3	0	29	0	0	0	0
Mg (NO ₃) ₂ 1N	3	46	100	0	0	0	100
H ₃ PO ₄ 0,1N	20	92	100	23	0	43	100
Extensão de Provável da Fitotoxidez							
DTPA 0,005M (pH 7,3)	77	0	0	0	50	29	0
NH ₄ OAc 1N (pH 4,6)	40	0	0	67	100	57	0
H ₂ O	0,5	12	0	33	50	86	0

Parece que para se diagnosticar a deficiência/suficiência de Mn em solos ricos no elemento, quaisquer dos extratores testados podem ser utilizados. Mas para solos pobres em Mn ocorreram diferenças nas interpretações baseadas nos extratores utilizados. Um estudo comparativo (Fig. 3a e 3b) das extrações de DTPA 0,005M (pH 7,3) com HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N e de Mg(NO₃)₂ 1N com NH₄ OAc 1N (pH 4,6) foi feito para os solos PV e LA. Apesar de equações de regressão linear ($P = 0,01$) para os solos PV terem sido ajustadas entre DTPA 0,005M (pH 7,3) e HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N e entre Mg(NO₃)₂ 1N e NH₄OAc 1N (pH 4,6), os extratores DTPA 0,005M (pH 7,3) e NH₄OAc 1N (pH 4,6) nos seus limites críticos deixaram de detectar qualquer solo com deficiência em Mn. Por outro lado, o Mg(NO₃)₂ 1N e HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N foram de comportamento não apenas similar, mas também comprovaram observações já mencionadas baseadas no conteúdo de Mn ativo, isto é, que solos PV devem, em geral, ser deficientes em Mn disponível aos vegetais. Portanto, até que os testes em solos sejam padronizados, para diagnosticar a disponibilidade de Mn em solos PV, os níveis críticos de 3 ppm para as extrações com Mg(NO₃)₂ 1N e de 5 ppm para HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N devem ser adotados.

A respeito dos solos LA, uma equação de regressão linear foi ajustada ($P = 0,05$) entre DTPA 0,005 M (pH 7,3) e HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N e, considerado o limite crítico de cada extrator, todos os solos enquadram-se na categoria deficiente. No caso de extratores Mg(NO₃)₂ 1 N e NH₄OAc 1 N (pH 4,6) não houve relação quantitativa entre os extratores, nem concordância de interpretação dos resultados dos testes. É interessante notar que os extratores DTPA 0,005 M (pH 7,3), HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N e Mg(NO₃)₂ 1 N não apenas apresentam interpretações compatíveis com os resultados dos testes como também comprovam a opinião de que os solos LA são, em geral, deficientes em Mn disponível às plantas, baseado nos conteúdos de Mn ativo. Aparentemente pode-se concluir que quaisquer dos três extratores nos respectivos limites críticos, podem ser utilizados para diagnosticar o Mn disponível em solos LA.

Tendo-se em consideração todos os solos estudados, o estudo das formas de Mn e as conclusões baseadas na análise de regressão múltipla passo a passo e análise de correlação canônica, o

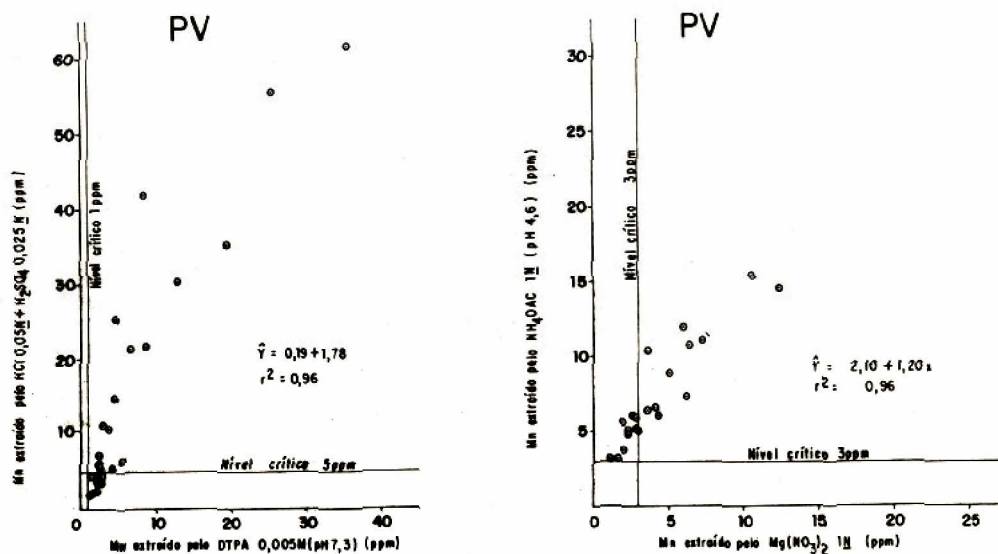


FIG. 3(a). Comparação de extratores em classificação de solos como deficiente/suficiente em Mn disponível

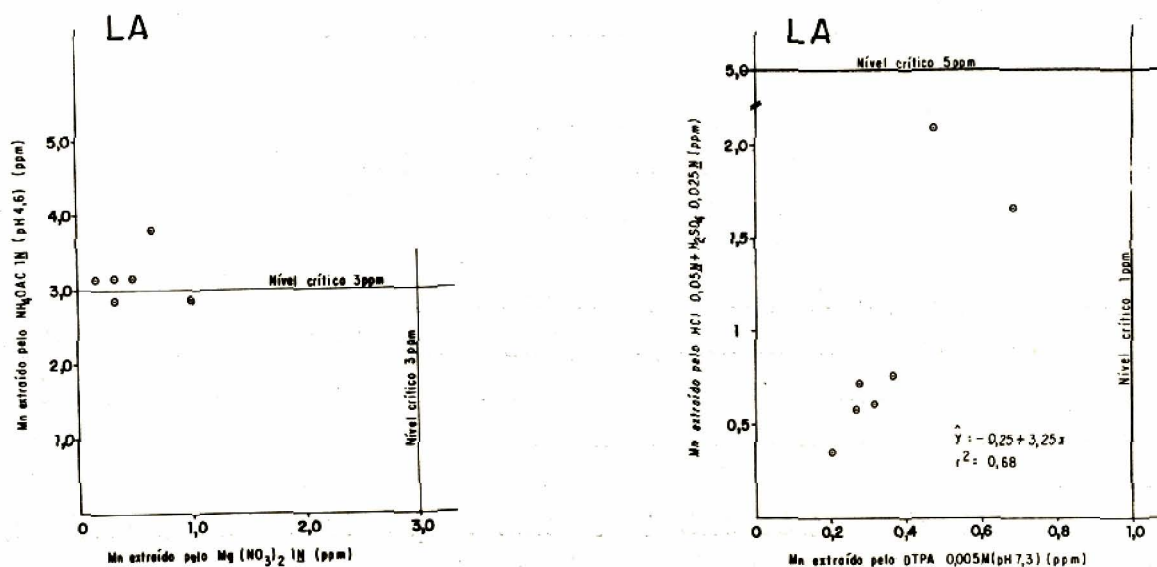


FIG. 3(b). Comparação de extratores em classificação de solos como deficiente/suficiente em Mn disponível

Mg (NO₃)₂ 1N deve ser considerado o extrator mais conveniente, considerando-se o nível crítico de 3 ppm como limite para diagnosticar solos deficientes/suficientes. Mas, para maior confiabilidade na diagnose, torna-se necessário incluir na interpretação, os resultados de Mn ativo. Ao mesmo tempo, os outros extratores podem ser mais criticamente avaliados.

CONCLUSÃO

Os solos estudados foram classificados como Mn-pobre (LA, AL e PV) e Mn-rico (LV, GPH e TE) com base na proporção de formas de Mn ocorrentes nos solos. Os solos Mn-pobre não somente se apresentaram com baixos níveis de Mn-ativo, mas também contêm alta quantidade de Mn resistente ou inerte. Por outro lado, os solos Mn-rico mostraram distribuição quantitativa semelhante das diferentes formas de Mn.

Levantou-se a hipótese sobre a dinâmica de equilíbrio que governa a disponibilidade de Mn ser diferente em solos Mn-rico e Mn-pobre, pois sabe-se ser bastante conhecido que além de outros fatores, as proporções de formas de Mn afetam este equilíbrio.

No diagnóstico preliminar, o Mg (NO₃)₂ 1N mostrou-se como o extrator mais conveniente e que o nível crítico de 3 ppm de Mn pode ser utilizado para classificar solos como suficientes/deficientes em Mn disponível. Porém, para maior confiabilidade, torna-se necessário que os resultados de Mn-ativo, sejam incluídos na interpretação. Além disso o Mg (NO₃)₂ 1N e outros extratores como DTPA 0,005M (pH 7,3), HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N, NH₄OAc 1N (pH 4,6) e H₃PO₄ 0,1N, ainda requerem padronização e respectiva aferição do nível crítico nas diferentes relações de solos-plantas.

O diagnóstico da disponibilidade de Mn em solos mostrou que, geralmente, os LA, AL e cerca de 30 a 50% de solos PV são deficientes em Mn, sendo que a ocorrência de fitotoxidez pode obedecer a seguinte seqüência: TE ≥ GPH > LV > PV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, F. Manganese. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E. eds. **Methods of soil analysis**. II. Chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.1011-8 (American Society of Agronomy. Agronomy, 9).
- ALMEIDA, A.M.R. & SFREDO, D.J. Encrespamento foliar e nanismo de plantas de soja associadas à toxidez de manganês. **Fitopatol. bras.**, Brasília, 4(2):333-5, 1979.
- BASTOS, T.X. **O clima da Amazônia brasileira segundo Köppen**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1982. 4p. (EMBRAPA-CPATU. Pesquisa em Andamento, 87).
- BOKEN, E. Investigations on the determination of the available manganese content of soils. **Plant & Soil**, The Hague, 9(3):269-85, 1958.
- BROWMAN, M.G.; CHESTERS, G. & PIONKE, H.B. Evaluation of tests for predicting the availability of soil manganese to plants. **J. agric. Sci.**, Cambridge, 72:335-40, 1969.
- CHENG, B.T. Dynamics of soil manganese. **Agrochimica**, Pisa, 17(1/2):84-95, 1973.
- CHENG, B.T. & OUELLETTE, G.J. Manganese availability in soil. **Soils & Fertilizers**, Harpenden, 34:589-95, 1971.
- COSTA, A.S.; GALLO, J.R.; RAIJ, B. VAN & VALADARES, J.M.A.S. Pseudovirose do algodoeiro induzida por toxidez de manganês do solo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 1:68-71, 1977.
- COTTER, D.J. & MISHRA, U.N. The role of organic matter in soil manganese equilibrium. **Plant & Soil**, The Hague, 29:439-48, 1968.
- COUTINHO, C.; FREIRE, J.R.J. & VIDOR, C. Comportamento de variedade de soja em relação a toxidez de Al e Mn de solo ácido do Rio Grande do Sul. **Agron. Sulriogr.**, Porto Alegre, 5:133-41, 1971.
- DALAL, R.C. & CHATTERJEE, R.K. Comparative studies on available manganese status of some Indian Soils. **Agrochimica**, Pisa, 15:228-37, 1971.
- DANTAS, H.S. Manganês e cations permutáveis na unidade Utinga. **Pesq. agropec. bras. sér. Agron.**, Rio de Janeiro, 6:27-30, 1971.
- DION, H.G. & MANN, P.J.G. Three valent manganese in soils. **J. agri. Sci.**, Cambridge, 36:239-45, 1946.
- DION, H.G.; MANN, P.J.G. & HEINTZE, S.G. The "easily reducible" manganese of soils. **J. agric. Sci.**, Cambridge, 37:17-22, 1947.
- DÖBEREINER, J. & ALVAHYDO, R. Toxidez de manganês em solos de série Ecologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 9, Fortaleza, 1963. **Anais...** Fortaleza, 1963.
- DRAPER, N.R. & SMITH, H. **Applied regression analysis**, 2ed. New York, 3. Wiley, 1981. 709p.
- DUNGAPATRA, P.; SIMS, J.L. & ELLIS, J.H. Estimating plant-available manganese in selected Kentucky soils. **Soil Sci.**, Baltimore, 127(1):35-40, 1979.

- FRANCO, A.A. & DÖBEREINER, J. Toxidez de manganês de um solo ácido na simbiose soja-rhizobium. **Pesq. agropec. bras.**, Rio de Janeiro, 6:57-66, 1971.
- FUJIMOTO, C.K. & SHERMAN, G.D. Behavior of manganese in the soil and the manganese cycle. **Soil Sci.**, Baltimore, 66:131-45, 1948.
- HEINTZE, S.G. Studies on soil manganese. **J. Soil Sci.**, London, 8(2):287-300, 1957.
- HOFF, D.J. & MEDERSKI, H.J. The chemical estimation of plant available manganese. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 22:129-32, 1958.
- HOROWITZ, A. & DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. I. Manganês na zona da Mata no Sertão. **Pesq. agropec. bras.**, Rio de Janeiro, 1:383-90, 1966.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis; advanced course**. Madison, University of Wisconsin, Department of Soils, 1969. 991p.
- JONES, L.H.P. & LEEPER, G.W. Available manganese oxides in neutral and alkaline soils. **Plant & Soil**, The Hague, 3(2):154-9, 1951.
- KANWAR, J.S. & RANDHAWA, N.S. **Micronutrient research in soils and plants in India, a review**. New Delhi, Indian Council of Agricultural Research, 1967.
- LEEPER, G.W. The forms and reactions of manganese in the soil. **Soil Sci.**, Baltimore, 63:79-94, 1947.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Developments of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 42:421-8, 1978.
- MASCARENHAS, H.A.A.; BRAGA, N.R.; BULISANI, E.A.; FEITOSA, C.T.; HIROCE, R. & BATAGLIA, O.C. Efeito do corretivo sobre soja cultivada em solo de cerrado contendo Al e Mn. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2, Brasília, D.F., 1981. **Anais**. Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1982. v.2. p.567.
- MORGAN, M.F. **Chemical diagnosis by the universal soil testing system**. New Haven, 1941. (Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin, 450).
- MORRIS, H.D. The soluble manganese content of acid soils and its relation to the growth and manganese content of sweet clover and lespedeza. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 13:362-71, 1948.
- MORRISON, D.F. **Multivariate statistical methods**, 2 ed. Tokyo, McGraw-Hill, 1976. 415p.
- PIPER, C.S. The availability of manganese in the soil. **J. agric. Sci.**, Cambridge, 21:762-79, 1931.
- RANDALL, G.W.; SHULTE, E.E. & COREY, R.B. Correlation of plant manganese with extractable soil manganese and soil factors. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 40:282-7, 1976.
- RANDHAWA, N.S.; KANWAR, J.S. & NIJHAWAN, S.D. Distribution of different forms of manganese in the Punjab soils. **Soil Sci.**, Baltimore, 92:106-12, 1961.
- RAYCHAUDHURI, S.P. & DATTA BISWAS, N.R. Trace element status of Indian soils. **J. Indian Soc. Soil Sci.**, New Delhi, 12:207-14, 1964.

- REID, A.S.J. & MILLER, M.H. The manganese cycle. II. Forms of soil manganese in equilibrium with solution manganese. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, **43**:250-9, 1963.
- ROORDA van EYSINGA, J.P.N.L.; DIJK, P.A. van & BES, S.S. de. The available manganese content of soils in the Netherlands determined by various methods. **Commun. Soil Sci. & Plant Anal.**, Athens, **9**:141-51, 1978.
- SALCEDO, I.H.; ELLIS, B.G. & LUCAS, R.E. Studies in soil manganese: II. Extractable manganese and plant uptake. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, **43**:138-41, 1979.
- SANCHEZ, P.A. Soil management in oxisol savannahs and ultisol jungles of tropical South America. In: GREENLAND, D.J. ed. **Characterization of soils in relation to their classification and management for crop production: examples from some areas of the humid tropics**. Oxford, Clarendon, 1981. p.214-53.
- SHERMAN, G.D. & HARMER, P.M. The manganous-manganic equilibrium of soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, **7**:398-405, 1942.
- SHERMAN, G.D.; McHARGUE, J.S. & HODGKISS, W.S. Determination of active manganese in soil. **Soil Sci.**, Baltimore, **54**:253-7, 1942.
- SINGH, M. Distribution of manganese in tropical arid brown, sierozem and desert soils of Earstwhile Punjab (India). **Agrochimica**, Pisa, **14**(5/6):565-76, 1970.
- SINGH, M. & PATHAK, A.N. Effect of heating and steam sterilization on soil manganese. **Ind. J. agric. Sci.**, New Delhi, **39**:684-9, 1969.
- SINGH, M.; PATHAK, A.N. Manganese in relation to climate and soil characters. **Agrochimica**, Pisa, **14**(2/3):213-22, 1970.
- SINGH, R. & MÖLLER, M.R.F. **Disponibilidade de micronutrientes em classes dominantes de solos do trópico úmido brasileiro. I. Zinco**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984, 43p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 55).
- SOUTO, S.M. & DÖBEREINER, J. Toxidez de manganês em leguminosas forrageiras tropicais. **Pesq. agropec. bras.**, Rio de Janeiro, **4**:129-38, 1969.
- VIRO, P. Use of ethylenediaminetetraacetic acid in soil analysis: I. Experimental. **Soil Sci.**, Baltimore, **79**:459-65, 1955.

ANEXOS

ANEXO I

Teor de Mn Total e Mn extraído por vários extratores em solos diferentes (ppm)

Protocolo	Prof. (cm)	Mn-Total	H ₂ O	DTPA 0,005M (pH 7,3)	HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	NH ₄ OAc 1N (pH 4,6)	H ₃ PO ₄ 0,1N	Mg(NO ₃) ₂ 1N	EDTA 0,05M (pH 7,0)	Hidroquinona 0,2% em NH ₄ OAc 1N (pH 7,0)	CBD
Podzólico Vermelho-Amarelo											
Capitão Poço, Pa.											
39.041	0-15	71	0,46	7,78	15,29	10,71	12,53	6,35	10,91	14,45	32,40
39.042	0-15	61	0,00	4,92	12,73	7,87	10,82	3,67	7,14	9,63	23,15
39.043	0-15	46	0,00	2,31	4,34	4,72	4,39	2,34	2,58	3,21	15,05
39.044	0-15	59	0,00	4,91	7,18	6,61	6,53	4,18	5,16	5,89	17,36
39.045	0-15	60	0,00	8,49	11,60	8,82	10,39	5,18	8,45	18,56	21,99
39.046	15-60	34	—	0,25	0,76	2,83	—	—	0,40	—	—
39.047	0-15	47	0,00	3,05	6,07	5,04	6,43	2,34	3,85	4,28	16,20
39.048	15-60	25	—	1,01	2,70	3,15	—	—	1,27	—	—
39.049	0-15	29	0,00	2,75	5,47	5,04	5,03	2,17	3,45	6,95	16,20
39.050	0-15	19	0,00	2,75	3,53	5,04	3,86	2,84	3,17	3,75	11,57
39.051	0-15	68	2,69	13,05	27,86	15,43	20,88	10,69	20,98	27,83	43,98
Tracuateua, Pa.											
39.052	0-15	26	0,00	1,98	2,48	3,78	2,57	2,00	2,06	2,14	13,89
39.053	15-60	26	—	0,92	1,62	3,15	—	—	1,23	—	—
39.054	0-15	19	0,00	1,20	1,94	3,15	2,03	1,17	1,31	1,61	10,42
39.055	15-60	23	—	0,35	0,76	2,20	—	—	0,52	—	—
39.056	0-15	15	0,00	1,54	1,91	3,15	2,25	1,67	1,55	1,61	6,94
39.057	0-15	23	0,00	3,03	4,54	5,04	4,28	3,01	3,37	3,75	12,73

Continua

ANEXO I — Cont.

Bragança, Pa.

39.058	0-15	23	0,09	5,59	6,42	7,24	7,50	6,18	6,47	4,82	12,73
39.059	0-15	31	1,48	4,58	5,33	5,98	5,57	4,34	4,88	4,28	13,89

Vizeu, Pa.

39.062	0-15	20	0,00	2,59	3,78	5,98	4,28	2,84	3,33	3,21	10,42
--------	------	----	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

Altamira, Pa.

39.071	0-15	66	0,00	3,74	5,72	6,61	6,10	3,67	4,72	9,10	30,09
39.072	15-30	80	—	4,06	8,91	9,76	—	—	9,36	—	—

Tomé-Açu, Pa.

39.164	0-15	50	0,00	2,58	5,62	5,98	5,46	2,67	3,53	4,28	19,68
39.165	15-30	34	—	0,44	0,90	3,46	—	—	0,67	—	—
39.166	0-15	56	0,00	2,43	7,10	5,04	5,89	2,17	2,58	5,87	20,83
39.167	15-30	34	—	0,41	0,54	3,15	—	—	0,40	—	—
39.168	0-15	92	0,00	8,59	21,80	11,97	20,13	6,01	24,30	17,12	45,14
39.169	15-30	40	—	1,29	3,24	4,41	—	—	2,10	—	—

Igarapé-Açu, Pa.

39.170	0-15	34	0,00	6,59	11,29	11,02	10,92	7,18	9,56	9,63	15,05
39.171	15-30	19	—	1,49	1,94	4,09	—	—	1,63	—	—

Santa Isabel, Pa.

39.174	0-15	19	0,00	1,63	4,46	5,67	5,68	2,00	2,22	3,75	10,42
39.175	15-30	17	—	1,04	2,45	3,78	—	—	1,15	—	—

Mazagão, AP.

39.146	0-15	77	0,83	9,58	17,69	14,49	14,57	12,53	10,83	12,31	33,25
39.147	15-30	32	—	1,08	1,66	4,09	—	—	1,39	—	—
39.148	30-45	43	—	0,53	1,19	4,09	—	—	0,87	—	—
39.149	45-60	45	—	0,32	0,94	3,15	—	—	0,59	—	—

Continua

ANEXO I — Cont.

Boa Vista, RR.

39.230	0-15	374	0,00	35,40	61,50	31,18	43,05	23,55	113,76	135,38	261,57
39.231	15-30	182	—	3,49	8,10	8,82	—	—	9,01	—	—
39.232	30-60	330	—	6,89	12,03	18,27	—	—	57,43	—	—

Macapá, AP.

Latossolo Amarelo

39.138	0-15	37	0,00	0,27	0,58	3,15	0,75	0,17	0,28	0,54	8,10
39.139	0-15	30	0,09	0,69	1,66	3,78	1,50	0,67	0,91	1,61	10,42
39.140	0-15	34	0,00	0,37	0,76	3,15	0,75	0,50	0,43	1,07	8,10
39.141	0-15	34	0,00	0,28	0,72	2,83	0,86	0,33	0,28	1,07	9,26
39.142	15-30	22	—	0,09	0,22	2,52	—	—	0,08	—	—
39.143	30-60	35	—	0,10	0,29	2,83	—	—	0,08	—	—
39.144	0-15	36	0,00	0,21	0,36	3,15	0,43	0,33	0,16	1,07	6,94
39.145	0-15	23	0,00	0,32	0,61	3,15	0,75	0,33	0,28	0,54	8,10

Boa Vista, RR.

39.233	0-10	45	0,00	0,48	2,09	2,83	1,71	1,00	0,52	2,68	6,94
39.234	10-25	26	—	0,23	0,43	3,15	—	—	0,32	—	—
39.235	25-70	35	—	0,05	0,18	3,15	—	—	0,08	—	—

Altamira, Pa.

39.065	0-10	46	0,00	4,69	9,05	9,45	8,25	7,35	6,23	8,56	35,88
39.066	10-60	43	—	1,52	5,40	5,67	—	—	3,29	—	—

Boa Vista, RR.

39.225	0-25	1156	0,19	54,95	68,40	70,56	85,68	61,79	278,33	679,58	879,62
39.226	25-35	871	—	30,11	57,80	63,00	—	—	269,49	—	—
39.227	35-70	705	—	20,76	37,10	45,99	—	—	174,51	—	—
39.228	0-10	378	1,39	69,07	76,70	74,97	88,36	81,83	183,34	334,44	378,47
39.229	10-30	415	—	35,07	49,80	48,82	—	—	144,69	—	—

Continua

ANEXO I — Cont.

Terra Roxa Estruturada

Altamira, Pa.

39.063	0-15	1156	19,07	173,78	139,64	121,90	160,65	113,56	407,55	473,56	949,07
39.064	15-60	572	—	11,37	33,45	39,37	—	—	77,31	—	—
39.067	0-15	770	2,59	49,61	68,73	68,04	80,32	7,68	139,16	125,75	569,44
39.068	0-15	3467	0,28	180,23	157,73	57,96	160,65	14,70	1877,62	1506,31	2870,35
39.069	15-60	2136	—	49,99	99,27	51,66	—	—	1027,17	—	—
39.070	0-15	1981	1,48	134,27	168,00	79,38	168,68	44,92	1115,52	864,19	1527,77

Glei Pouco Húmico

Vizeu, Pa.

39.060	0-15	201	6,94	22,21	78,90	109,93	43,80	138,61	110,45	61,54	104,17
39.061	0-15	101	0,19	6,51	27,86	38,43	17,03	35,57	35,34	26,75	32,41
39.658	0-15	197	2,87	55,33	57,80	70,87	33,74	70,14	63,09	55,12	103,01

Santa Izabel, Pa.

39.172	0-15	81	0,93	21,67	25,00	32,76	18,31	34,57	30,92	21,40	26,62
39.173	15-30	100	—	60,67	59,30	82,53	—	—	72,90	—	—

Bragança, Pa.

39.657	0-15	109	1,67	16,48	25,00	38,74	17,24	35,07	37,55	23,01	34,72
--------	------	-----	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Mazagão, AP.

39.150	0-20	1046	0,46	124,19	136,40	146,79	125,84	172,01	204,33	385,27	787,03
39.151	20-40	419	—	20,91	23,60	34,02	—	—	75,10	—	—
39.152	0-20	936	0,46	113,72	123,30	138,91	112,45	167,00	204,33	334,44	682,87
39.153	20-40	653	—	70,60	83,30	95,44	—	—	189,97	—	—

Aluvial

Boa Vista, RR.

39.236	0-15	66	0,00	1,19	1,40	5,98	1,50	1,83	1,27	2,14	3,47
39.237	15-30	39	—	0,43	0,54	2,83	—	—	0,48	—	—

ANEXO II

Mn extraído das amostras superficiais de solos, por diversos extratores e Mn - total (ppm)

Extrator e Mn-total	Classes de Solos					
	PV	TE	LV	LA	GPH	AL TODOS SOLOS
H ₂ O						
Mínimo	0,00	0,28	0,00	0,00	0,19	0,0
Máximo	2,69	19,07	1,39	0,09	6,94	19,07
Média	0,23	5,85	0,53	0,01	1,93	0,96
Desvio Padrão	0,61	7,67	0,61	0,03	2,22	2,96
DTPA 0,005M (pH 7,3)						
Mínimo	1,20	49,61	4,69	0,21	6,51	0,21
Máximo	35,40	180,23	69,07	0,69	124,19	180,23
Média	5,88	134,47	42,90	0,37	51,44	25,47
Desvio Padrão	6,83	52,06	27,63	0,15	44,99	45,63
HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N						
Mínimo	1,91	68,73	9,05	0,36	25,00	0,36
Máximo	61,50	168,00	76,70	2,09	136,40	168,00
Média	10,66	133,52	51,38	0,97	67,75	31,01
Desvio Padrão	12,39	38,76	30,12	0,60	43,54	45,58
NH ₄ OAc 1N (pH 4,6)						
Mínimo	3,15	57,96	9,45	2,83	32,76	2,83
Máximo	31,18	121,90	74,97	3,78	146,79	146,79
Média	8,15	81,82	51,66	3,15	82,35	27,87
Desvio Padrão	5,80	24,35	29,90	0,29	45,57	38,62
H ₃ PO ₄ 0,1N						
Mínimo	2,03	80,32	8,25	0,43	17,03	0,43
Máximo	43,05	168,68	88,36	1,71	125,84	168,68
Média	9,21	142,57	60,76	0,96	52,63	29,36
Desvio Padrão	8,63	36,09	37,15	0,43	43,21	46,25

Continua

ANEXO II — Cont.

Mg (NO ₃) ₂ 1N	Mínimo	1,17	7,68	7,35	0,17	34,57	—	0,17
	Máximo	23,55	113,56	81,83	1,00	172,01	1,83	172,01
	Média	5,03	45,21	50,32	0,48	93,28	1,83	24,15
	Desvio Padrão	4,74	41,87	31,47	0,26	59,03	—	43,08
EDTA 0,05M (pH 7,0)	Mínimo	1,31	139,16	6,23	0,16	30,92	—	0,16
	Máximo	113,76	1877,62	278,33	0,91	204,33	1,27	1877,62
	Média	10,84	884,96	155,97	0,41	98,00	1,27	107,78
	Desvio Padrão	22,19	675,03	112,76	0,23	71,78	—	317,04
Hidroquinona 0,2% em NH ₄ OAc 1N (pH 7,0)	Mínimo	1,61	125,75	8,56	0,54	21,40	—	0,54
	Máximo	135,38	1506,31	679,58	2,68	385,27	2,14	1506,31
	Média	13,06	742,45	340,86	1,23	129,65	2,14	113,57
	Desvio Padrão	26,26	512,57	273,98	0,68	146,95	—	276,85
CBD	Mínimo	6,94	569,44	35,88	6,94	26,62	—	3,47
	Máximo	261,57	2870,35	879,62	10,42	787,03	3,47	2870,35
	Média	29,79	1479,16	431,43	8,27	252,98	3,47	212,12
	Desvio Padrão	49,37	872,69	346,48	1,15	307,57	—	507,27
TOTAL	Mínimo	15,00	77,00	46,00	23,00	81,00	—	15,00
	Máximo	374,00	3467,00	1156,00	45,00	1046,00	66,00	3467,00
	Média	57,71	1843,50	526,67	34,14	381,57	66,00	289,46
	Desvio Padrão	69,38	1034,37	465,19	6,22	388,93	—	621,83